

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-044739

(43)Date of publication of application : 16.02.2001

(51)Int.Cl.

H01Q 3/26

H04B 1/10

H04B 7/08

(21)Application number : 11-219535

(71)Applicant : TOYOTA CENTRAL RES &amp; DEV LAB INC

(22)Date of filing : 03.08.1999

(72)Inventor : FUJIMOTO YOSHITOSHI

ITO NOBURO

SHIBATA TSUGUYUKI

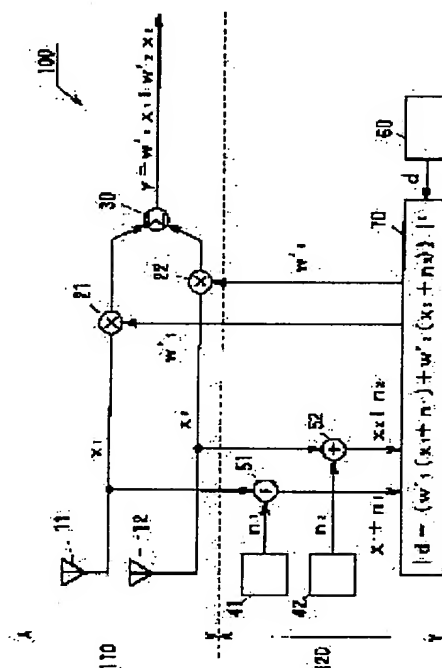
SUZUKI TOKUSHO

## (54) SYSTEM AND EQUIPMENT FOR ADAPTIVE ARRAY RECEPTION

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To reduce the influence of a delay wave, which doesn't come in a reference signal period, or an interference wave by adding reception signals of plural antennas after multiplying them by optimum values of successively operated weight coefficients respectively.

**SOLUTION:** After received signals of plural antennas to which white noises with no correlations are added are multiplied by weight coefficients, optimum values of weight coefficients are successively operated so that the difference between a signal obtained by adding them and a reference signal may be minimum. Received signals of antennas are added after being multiplied by optimum values of successively operated weight coefficients respectively. For example, in an adaptive array device 100, a signal output part 110 is comprised of antennas 11 and 12, multipliers 21 and 22 which multiply their outputs  $x_1$  and  $x_2$  by weight coefficients  $w_1$  and  $w_2$  respectively, and an adder 30 which operates the sum of outputs of multipliers 21 and 22. Weight coefficients  $w_1$  and  $w_2$  are determined in a weight operation part 120 so that the component of a delay wave or an interference wave included in an output ( $y$ ) of the adder 30 to be reduced.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-44739

(P2001-44739A)

(43)公開日 平成13年2月16日(2001.2.16)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード <sup>*</sup> (参考)
H 0 1 Q	3/26	H 0 1 Q 3/26	C 5 J 0 2 1
H 0 4 B	1/10	H 0 4 B 1/10	W 5 K 0 5 2
	7/08	7/08	D 5 K 0 5 9

審査請求 未請求 請求項の数2 O L (全 6 頁)

(21)出願番号 特願平11-219535

(22)出願日 平成11年8月3日(1999.8.3)

(71)出願人 000003609

株式会社豊田中央研究所

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1

(72)発明者 藤元 美俊

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 伊藤 修朗

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1 株式会社豊田中央研究所内

(74)代理人 100087723

弁理士 藤谷 修

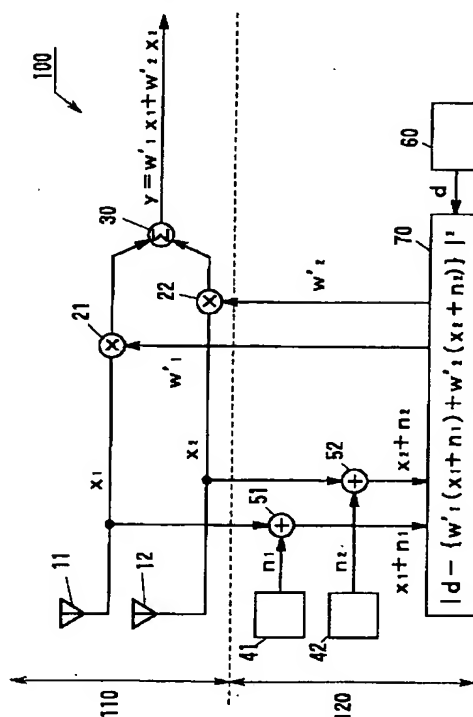
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 アダプティブアレイ受信方式及びアダプティブアレイ受信装置

(57)【要約】

【課題】 参照信号期間中に到来しない遅延波又は干渉波の影響をも低減するアダプティブ受信装置とすること。

【解決手段】 複数のアンテナの受信信号に対し、各々相関のない白色雑音を加えた信号についてアダプティブアレイの重み係数を逐次算出する。この重み係数は、白色雑音を加えた信号について、所望波方向にビーム形成されるか、又は遅延波若しくは干渉波(所望波と同一周波数の別個の信号)の方向にヌルが形成された状態となる。そこでこの重み係数を、複数のアンテナの受信信号に対して乗ずる系を別個に設けることで、白色雑音のない状態で所望波方向にビーム形成されるか、又は遅延波若しくは干渉波(所望波と同一周波数の別個の信号)の方向にヌルが形成される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数のアンテナの受信信号の各々に対し、逐次演算される重み係数を乗じたのち加算することにより、遅延波或いは干渉波の影響を低減するアダプティブアレイ受信方式において、

前記複数のアンテナの受信信号に各々相関のない白色雑音を加算し、

白色雑音を加算した前記複数のアンテナの受信信号に対して重み係数を乗じたのち加算した信号と参照信号との差が最小となるよう、重み係数の最適値を逐次演算し、前記複数のアンテナの受信信号の各々に対し、逐次演算される前記重み係数の最適値を乗じたのち加算することにより、遅延波或いは干渉波の影響を低減した出力信号を得ることを特徴とするアダプティブアレイ受信方式。

【請求項 2】 複数のアンテナと、

その各々のアンテナの受信信号に重み係数を乗ずるための前記複数のアンテナに対応した数の乗算器と、

その乗算器の出力を合成する加算器と、

前記複数のアンテナから分岐された受信信号に、各々相関のない白色雑音を加算するための前記複数のアンテナに対応した数の白色雑音発生器と雑音加算器の組と、

参照信号発生装置と、

各々のアンテナの受信信号に乗ずる前記重み係数を逐次演算出力する制御装置とを有し、

前記制御装置の逐次演算出力する重み係数は、前記雑音加算器の出力である白色雑音の加算された各々のアンテナの受信信号に乗じて和をとった信号と前記参照信号の出力信号との差を最小とするよう決定されることを特徴とするアダプティブアレイ受信装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_m(t) \end{pmatrix} \quad \mathbf{w} = \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_m \end{pmatrix} \quad y = \mathbf{w}^T \mathbf{x}$$

...(1-1),                      ...(1-2),                      ...(1-3)

【0005】このとき、最小平均自乗誤差 (Minimum Mean Square Error, MMSE) として次の値  $J$  が最小となるようにする。尚、 $E[\dots]$  は行列又はベクトルのそれぞれの要素における平均値を意味する。本来アンサンブル

$$J = E[|d - y|^2] = E[|d|^2] - \mathbf{w}^T \mathbf{r}_{xd}^* - \mathbf{w}^T \mathbf{r}_{xd} + \mathbf{w}^T \mathbf{R}_{xx} \mathbf{w} \quad \dots(2-1)$$

$$\mathbf{r}_{xd} = E[\mathbf{x}^* d] \quad \dots(2-2), \quad \mathbf{R}_{xx} = E[\mathbf{x}^* \mathbf{x}^T] \quad \dots(2-3)$$

【0006】このとき、 $J$  (平均自乗誤差) が最小となるものとして、次のように各重み係数の最適値の縦ベク

【発明の属する技術分野】本発明は、移動通信における受信時のアダプティブアレイの適用に関する。本発明は、時分割多重接続 (TDMA) 方式による移動通信に特に有効である。

【0002】

【従来の技術】受信装置に複数のアンテナを設け、アダプティブアレイを適用することは良く知られている技術である (例えば、ウェーブサミット講座「移動通信」オーム社刊、p. 283)。図 2 に一般的なアダプティブアレイの概略を示す。図 2 は 2 個のアンテナによるものを図示しているが、3 個以上でも全く同様である。以下では参照信号を 1 タイムスロット毎に受信するものを考える。

【0003】アダプティブアレイは図 2 のように、各アンテナ 91 及び 92 の受信信号  $x_1$  及び  $x_2$  に、乗算器 93 及び 94 にて重み係数  $w_1$  及び  $w_2$  を乗じ、加算器 95 にてそれらの和をとる仕組みとなっている。その各重み係数  $w_1$  及び  $w_2$  の決定のため、各アンテナの受信信号  $x_1$  及び  $x_2$  と、参照信号  $d$  と、和信号 (出力信号)  $y$  とを用いるものである。いま、アンテナを  $m$  個 ( $m \geq 2$ ) とし、各アンテナの受信した信号を時間  $t$  において  $x_i(t)$  ( $i$  はアンテナ番号、 $1 \leq i \leq m$ ) とする。このうち参照信号  $d(t)$  と比較される部分 (各タイムスロットの先頭部分) について、次のような演算により各重み係数  $w_i$  を決定する。尚、各信号  $x_i(t)$ 、 $y(t)$ 、 $d(t)$  及び重み係数  $w_i$  は複素関数及び複素数で示す。また、ベクトルの肩の  $T$  は転置ベクトルを示し、肩の  $*$  は複素共役を意味する。

【0004】簡単のためベクトル表記をする。受信信号  $x_i(t)$ 、重み係数  $w_i$ 、それらの積和  $y(t)$  について、次のように置く。

【数 1】

平均であるが、時間平均として求めることが一般的である。

【数 2】

トルを算出することができる。これは LMS (Least Mean Square) アルゴリズム又は RLS (Recursive Least

Squares) アルゴリズム、或いは SMI (Sample Matrix Inverse) アルゴリズムにより算出できることが知られている。

【数 3】

$$w_{opt} = R_{xx}^{-1} r_{xd} \quad \cdots (3)$$

【0007】式(3)の最適重み係数を求めるには式(2-2)、(2-3)のみで良く、積和 $y(t)$ の情報は最適重み係数の逐次演算には不要であることがわかる

(図2で加算器95から制御装置97への点線)。このようにして、出力信号 $y$ と参照信号 $d$ との平均自乗誤差が最も小さくなるよう重み係数 $w_i$ が決定される。即ち、所望波の到来に合わせて、所望波のタイムスロットの先頭部分にある参照信号期間の受信信号と、受信装置の内部で発生させる参照信号とを比較するのである。これは遅延波(所望波がより長い経路を経由したもの)や干渉波(所望波と異なる送信局からの到来波)がアンテナの数より少ない場合はそれらの方向にいわゆるヌルを形成することで達成される。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】ところで、例えばPHS(Personal Handyphone System)においては、図3のように、所望波(a)と遅延波(b)(所望波がより長い経路を経由したもの)の到来時刻のずれが参照信号期間よりも長い場合がある。PHSは時分割多重接続(TDMA)方式であるので、遅延波(b)は所望波(a)同様、1タイムスロット毎にいわば断続的に受信され、その到来が所望波(a)の参照信号期間終了後である可能性がある。すると、所望波(a)による参照信号期間において、受信装置の持つ参照信号とから重み係数を決定しても、それは参照信号期間終了後に到来する遅延波(b)を排除することにならない。これは干渉波(c)の到来が所望波(a)の参照信号期間終了後である場合も同様である。

【0009】本発明は上記課題の解決を目的とするものであり、遅延波或いは干渉波の到来が所望波の参照信号期間終了後でも、有効なアダプティブアレイを提供するものである。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、請求項1に記載の発明によれば、複数のアンテナの受信信号の各々に対し、逐次演算される重み係数を乗じたのち加算することにより、遅延波或いは干渉波の影響を低減するアダプティブアレイ受信方式において、複数のアンテナの受信信号に各々相関のない白色雑音を加算し、白色雑音を加算した前記複数のアンテナの受信信号に対して重み係数を乗じたのち加算した信号と参照信号との差が最小となるよう、重み係数の最適値を逐次演算し、複数のアンテナの受信信号の各々に対し、逐次演算される前記重み係数の最適値を乗じたのち加算すること

により、遅延波或いは干渉波の影響を低減した出力信号を得ることを特徴とする。

【0011】また請求項2に記載の発明によれば、複数のアンテナと、その各々のアンテナの受信信号に重み係数を乗ずるための前記複数のアンテナに対応した数の乗算器と、その乗算器の出力を合成する加算器と、複数のアンテナから分岐された受信信号に、各々相関のない白色雑音を加算するための前記複数のアンテナに対応した数の白色雑音発生器と雑音加算器の組と、参照信号発生装置と、各々のアンテナの受信信号に乗ずる前記重み係数を逐次演算出力する制御装置とを有し、制御装置の逐次演算出力する重み係数は、前記雑音加算器の出力である白色雑音の加算された各々のアンテナの受信信号に乗じて和をとった信号と前記参照信号の出力信号との差を最小とするよう決定されることを特徴とするアダプティブアレイ受信装置とする。

【0012】

【作用及び発明の効果】各々相関のない白色雑音を加えることにより、あたかも全方向から干渉波が到来するかの如き信号が形成される。これにアダプティブアレイを適用すれば、所望波の方向のみにビームが形成されることになる。この各重み係数を、白色雑音を加える前の各アンテナの受信信号に乗じて和を取れば、やはり所望波の方向のみにビームが形成されることになる。よって所望波の参照信号期間終了後に所望波の方向以外の方向から遅延波或いは干渉波が到来しても、それらは本発明のアダプティブアレイにより抑制される。一方、所望波の参照信号期間中に遅延波或いは干渉波が到来すれば、通常のアダプティブアレイ同様、白色雑音を加えたのちの各アンテナの受信信号に対し、到来した遅延波或いは干渉波の方向にヌルが形成される。この各重み係数を、白色雑音を加える前の各アンテナの受信信号に乗じて和をとれば、やはり到来した遅延波或いは干渉波の方向にヌルが形成される。

【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明の具体的な実施例を図を参照して説明する。尚、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。

【0014】【実施例】図1は、本発明の具体的な1実施例であるアダプティブアレイ装置100の概略を示すブロック図である。2つのアンテナ11及び12を有するアダプティブアレイ装置100は信号出力部110とウェイト演算部120とからなり、それらは以下のよう構成である。

【0015】信号出力部110は2つのアンテナ11及び12と、それらの出力 $x_1$ 及び $x_2$ と2つの重み係数 $w_1$ 及び $w_2$ をそれぞれ乗ずる乗算器21及び22、乗算器21及び22の出力 $w_1x_1$ 及び $w_2x_2$ の和をとる加算器30とからなる。加算器30の出力 $y$ に含まれる遅延波或いは干渉波の成分が少なくなるよう、ウェイト演算部120に

において重み係数 $w_1$ 及び $w_2$ を決定する。

【0016】ウエイト演算部120は、2つのアンテナ11及び12から分岐された回路として構成されている。互いに相関のない白色雑音 $n_1$ 及び $n_2$ を発生させる雑音発生回路41及び42、2つのアンテナ11及び12の出力 $x_1$ 及び $x_2$ に白色雑音 $n_1$ 及び $n_2$ をそれぞれ加える加算器51及び52、及び、加算器51及び52の出力 $x_1+n_1$ 及び $x_2+n_2$ と参照信号発生器60の出力 $d$ とから重み係数 $w_1$ 及び $w_2$ を決定する制御装置70である。

【0017】ウエイト演算部120では、 $y' = w_1(x_1 + n_1) + w_2(x_2 + n_2)$ と参照信号発生器60の信号 $d$ との差の自乗 $|d - y'|^2$ の時間平均が最小となるよう、重み係数 $w_1$ 及び $w_2$ を決定する。この重み係数 $w_1$ 及び $w_2$ を、信号出力部110の重み係数 $w_1$ 及び $w_2$ として適用する構成である。

$$\mathbf{w}'_{\text{opt}} = \mathbf{R}'_{x'x'}^{-1} \mathbf{r}'_{x'd} \quad \dots(4-1)$$

$$\mathbf{r}'_{x'd} = E[(\mathbf{x} + \mathbf{n})^* d] \quad \dots(4-2)$$

$$\mathbf{R}'_{x'x'} = E[(\mathbf{x} + \mathbf{n})^* (\mathbf{x} + \mathbf{n})^T] \quad \dots(4-3)$$

$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_m(t) \end{pmatrix} \quad \mathbf{n} = \begin{pmatrix} n_1(t) \\ n_2(t) \\ \vdots \\ n_m(t) \end{pmatrix}$$

$\dots(4-4),$

$\dots(4-5),$

$\dots(4-6)$

$$y' = \mathbf{w}'^T (\mathbf{x} + \mathbf{n})$$

$$J' = E[|d - y'|^2] = E[|d|^2] - \mathbf{w}'^T \mathbf{r}'_{x'd}^* - \mathbf{w}'^{T*} \mathbf{r}'_{x'd} + \mathbf{w}'^T \mathbf{R}'_{x'x'} \mathbf{w}' \quad \dots(4-7)$$

【0019】実際、式(4-7)の値 $J'$ を最小とする重み係数 $w'_j$ は、式(3)の $w_i$ と全く同様の手順で決定される。ところで、 $n_i(t)$ が白色雑音であり、他の信号と

【0018】ウエイト演算部120で決定される、白色雑音を加えた信号に対する重み係数 $w_1$ 及び $w_2$ が、信号出力部110においても有効であることを簡単に示す。従来のアダプティブアレイで説明した点において、出力 $x_i + n_i$  ( $i$ はアンテナ番号)に対して最適化した重み係数のベクトルを調べる。各 $n_i(t)$ が白色雑音であり、他の信号( $x_j, x_j, n_j, j \neq i$ )と相関がないことに注意する。まず、ウエイト演算部120で決定される重み係数を $w'_i$  ( $i$ はアンテナ番号)とおく。最適化した $m$ 個の重み係数 $w'_j$ からなる縦ベクトルは次の式(4-1)の通りであり、それは式(4-2)、(4-3)、(4-4)、(4-5)、(4-6)の定義により、式(4-7)の値 $J'$ を最小とするものとして決定される。

【数4】

相関がないから、式(4-2)、式(4-3)は次のように概算できる。

【数5】

$$\mathbf{r}'_{x'd} = \mathbf{E}[(\mathbf{x} + \mathbf{n})^* d] = \mathbf{E}[\mathbf{x}^* d] + \mathbf{E}[\mathbf{n}^* d] \simeq \mathbf{r}_{xd} \quad \dots(5-1)$$

$$\therefore \mathbf{E}[\mathbf{n}^* d] \simeq \mathbf{0} \quad (\text{零ベクトル})$$

$$\begin{aligned} \mathbf{R}'_{x'x'} &= \mathbf{E}[(\mathbf{x} + \mathbf{n})^* (\mathbf{x} + \mathbf{n})^T] \\ &= \mathbf{E}[\mathbf{x}^* \mathbf{x}^T] + \mathbf{E}[\mathbf{n}^* \mathbf{x}^T] + \mathbf{E}[\mathbf{x}^* \mathbf{n}^T] + \mathbf{E}[\mathbf{n}^* \mathbf{n}^T] \\ &= \mathbf{E}[\mathbf{x}^* \mathbf{x}^T] + \mathbf{E} \left[ \begin{pmatrix} n_1(t)^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & n_2(t)^2 & & 0 \\ \vdots & & \ddots & \\ 0 & 0 & & n_m(t)^2 \end{pmatrix} \right] \simeq \mathbf{R}_{xx} \quad \dots(5-2) \end{aligned}$$

$$\text{if } |\mathbf{x}| \gg |\mathbf{n}|, \therefore \mathbf{E}[\mathbf{n}^* \mathbf{x}^T], \mathbf{E}[\mathbf{x}^* \mathbf{n}^T] \simeq \mathbf{0} \quad (\text{零ベクトル})$$

$$\therefore \mathbf{w}'_{\text{opt}} = \mathbf{R}'_{x'x'}^{-1} \mathbf{r}'_{x'd} \simeq \mathbf{R}_{xx}^{-1} \mathbf{r}_{xd} = \mathbf{w}_{\text{opt}} \quad \dots(5-3) \quad \text{if } |\mathbf{x}| \gg |\mathbf{n}|$$

【0020】すなわち、式(4-2)、式(4-3)は各々式(2-2)、式(2-3)とほぼ等しいといえる(式(5-1)及び式(5-2))ので、式(4-1)は式(3)にほぼ等しいと言える(式(5-3))。

【0021】このように、各白色雑音の振幅が、所望波を各アンテナで受信した受信信号の振幅より十分小さければ、ウェイト演算部120で決定される白色雑音を加えた信号に対する重み係数で、白色雑音を加えない信号に対する重み係数を置き替えてよいことが証明できた。さらに、式(5-2)と式(2-3)を比較すると、各アンテナで受信した信号に独立な白色雑音を加えることは、相関行列 $\mathbf{R}_{xx}$ の対角成分に正の値を加えることに相当することがわかる。これが即ちあたかも全方向から干渉波が到来しているがごとき作用として働き、所望波以外の方向に対する感度が低くなる。その結果として、所望波の方向にビームが形成される。

【0022】本発明は、参照信号をもとに、最小平均自乗誤差(Minimum Mean Square Error, MMSE)法によりアダプティブアレイを適用するものである。本発明の主要部は信号出力部と、白色雑音を加えた信号に対するウェイト演算部との構成であり、重み係数(ウェイト)の計算方法自体にはよらない。LMS(Least Mean Square)、RLS(Recursive Least Squares)その他参照信号との(時間)平均自乗誤差を最小とする方法であればいかなる計算手段も適用できる。

【0023】本発明は重み係数の演算について、デジタル演算であっても良く、アナログ演算であっても良

い。アダプティブアレイを適用する受信信号も、デジタル信号であっても良くアナログ信号であっても良い。また、重み係数の演算について、ソフトウェアで行なっても、ハードウェアによって行なっても良い。アンテナの本数及び白色雑音発生器の組は2以上であれば良く、任意である。

【0024】本発明は参照信号を各タイムスロット毎に有する時分割多重接続(TDMA)方式に適しており、例えば複数の移動局と対応する移動通信の基地局に特に有効である。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の具体的な実施例にかかる2個のアンテナを有するアダプティブアレイを示したブロック図。

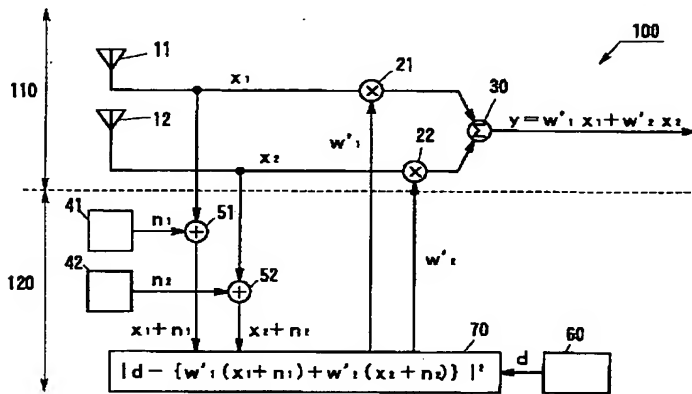
【図2】 2個のアンテナによるアダプティブアレイの基本構成を示したブロック図。

【図3】 参照信号を有する所望波(a)、参照信号を有する遅延波(b)、参照信号を有しない干渉波(c)の受信(到来)タイミングを示した模式図。

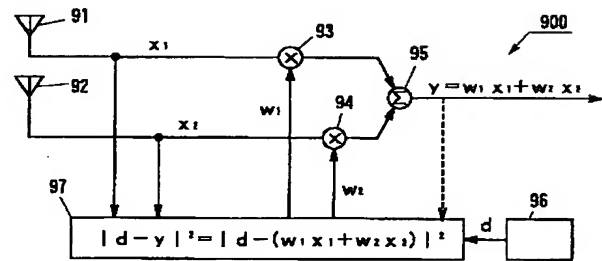
#### 【符号の説明】

- 100 アダプティブアレイ
- 110 信号出力部
- 120 ウェイト演算部
- 11、12 アンテナ
- 21、22 乗算器
- 30 加算器
- 41、42 雑音発生回路
- 60 参照信号発生器
- 70 制御装置

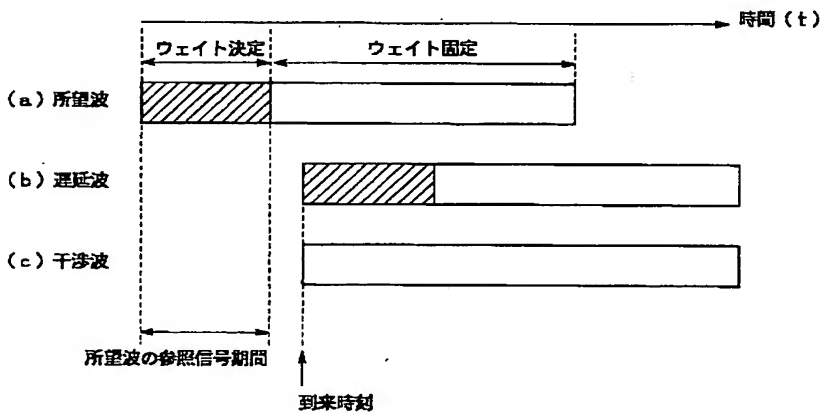
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(72) 発明者 柴田 伝幸  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72) 発明者 鈴木 徳祥  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

Fターム(参考) 5J021 AA02 AA05 AA06 CA06 EA04  
FA14 FA16 FA20 GA06 GA08  
HA05 HA10

5K052 AA01 BB08 DD03 DD04 EE13  
FF29 FF31 GG19 GG20

5K059 CC03 DD32 DD37 EE02